

AP20 Rec'd PCT/PTO 23 MAY 2006

1

Verfahren zum Zünden der Verbrennung eines Kraftstoffes in einem
Verbrennungsraum eines Motors, zugehörige Vorrichtung und Motor

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Zünden der Verbrennung eines
Kraftstoffes in einem Verbrennungsraum eines Motors sowie eine
5 zugehörige Zündvorrichtung und einen zugehörigen Motor.

Weil der Zündvorgang einen maßgeblichen Einfluss auf die Effizienz von
Verbrennungsmotoren hat, insbesondere bei vorgegebener Motorleistung
den Kraftstoffverbrauch und die Schadstoffemission maßgeblich
10 mitbestimmt, wurden bereits in der Vergangenheit umfangreiche
Anstrengungen zur Optimierung des Zündvorgangs vorgenommen.
Die heute gebräuchlichsten Zündvorrichtungen verwenden Zündkerzen,
die das Kraftstoff-Luft-Gemisch zünden. Diese Zündkerzen können eine
oder mehrere Elektroden aufweisen. Jede dieser Elektroden erzeugt einen
15 Zündfunken, der das Kraftstoff-Luft-Gemisch in der unmittelbaren
Umgebung der Elektrode zündet. Die Verbrennung beginnt
dementsprechend zuerst in einem sehr kleinen Startvolumen um die
Elektroden der Zündkerzen herum. Im Anschluss daran breitet sich die
Verbrennung mit einer allerdings begrenzten Geschwindigkeit aus.

In der DE 195 27 873 A1 und der US 5,136,994 ist eine Glühkerze beschrieben, die zur Herabsetzung des für die Zündung erforderlichen Energieaufwandes eine katalytische Oberflächenbeschichtung des Glühtheiles aufweist. Nachteilig ist daran, dass zum einen die Herstellkosten
5 aufgrund der erforderlichen Katalysatorwerkstoffe erhöht sind und zum anderen der Verbrennungsvorgang nur unwesentlich optimiert ist. Die US 4,774,914 und US 6,595,194 beschreiben eine Zündvorrichtung, die einen besonders großen Zündfunken generieren soll.

10 Die US 4,113,315 beschreibt ein Zweikammer-Zündverfahren, bei dem das Kraftstoff-Luft-Gemisch durch eine Zündquelle in einem ersten, kleinen Zündraum gezündet wird und durch die eintretende Flammenausbreitung anschließend das Kraftstoff-Luft-Gemisch im größeren zweiten Raum, dem eigentlichen Zylinder, entzündet. Die US 4,499,872 zeigt eine
15 Weiterentwicklung dieses Zweikammer-Zündverfahrens, bei der ein Gemisch aus ionisiertem Wasser und Kraftstoff mit Hilfe von magnetischen Feldern und mehreren Zündstangen gezündet wird. Den Zweikammer-Zündverfahren ist gemeinsam, dass sie einen hohen konstruktiven und damit Herstellungsaufwand erfordern.

20

Aus der US 5,673,554 und der US 5,689,949 sind Zündverfahren bekannt, bei denen Mikrowellenenergie dazu verwendet wird, im Verbrennungsraum ein Plasma zu erzeugen, welches das Kraftstoff-Luft-Gemisch zündet. Die Entstehung des Plasmas ist dabei wesentlich von der
25 Einhaltung enger Randbedingungen hinsichtlich der Ausbildung eines Resonanzmodes abhängig, was insbesondere im Hinblick auf den sich Auf und Ab bewegendem Kolben des Motors zu erheblichen konstruktiven Aufwendungen führt. Darüber hinaus begrenzt der Mikrowellensender den

Weg der Kolbenbewegung im Motor. Entsprechendes gilt auch für die
US 5,845,480.

Die US 5,983,871 beschreibt eine Kombination der Einkopplung von
5 Mikrowellen- und Laserenergie für die Erzeugung des Plasmas. Dadurch
wird die Komplexität der Zündvorrichtung und des Zündverfahrens sowie
des zugehörigen Motors weiter erhöht. Entsprechendes gilt für die
US 6,581,581, welche eine Kombination der Zündung durch
Mikrowellenplasma und einer magnetischen Ionisierung des atomisierten
10 Kraftstoff-Luft-Gemisches beschreibt.

Den bekannten Verfahren ist gemeinsam, dass sie aufwendige und damit
kostenintensive und wartungsintensive Konstruktionen erfordern und
darüber hinaus nur eine begrenzte Lebensdauer aufweisen.

15 Die Leistungsfähigkeit und Effizienz der Verbrennungsvorgangs und mithin
des dadurch angetriebenen Motors sind darüber hinaus beschränkt.
Hinzu kommt, dass die Schadstoffemission nicht ausreichend reduziert ist.
Insbesondere wird durch die zwecks Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs
erfolgte Abmagerung des Kraftstoff-Luft-Gemisches eine geringere
20 Verbrennungstemperatur erzielt, was eine geringere Leistung mit sich
bringt. Die geringere Verbrennungstemperatur führt außerdem zu einer
erhöhten Schadstoffemission.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum
25 Zünden der Verbrennung eines Kraftstoffes in einem Verbrennungsraum
eines Motors sowie eine zugehörige Zündvorrichtung und einen
zugehörigen Motor bereitzustellen, welche die Nachteile des Standes der
Technik überwinden. Insbesondere soll die Zündung erfindungsgemäß so
erfolgen, dass sich ein optimierter Verbrennungsverlauf ergibt, insbesondere

bei vorgegebener Leistung ein reduzierter Kraftstoffverbrauch und eine reduzierte Schadstoffemission.

Die Aufgabe ist durch das im Anspruch 1 bestimmte Verfahren sowie durch
5 die in den nebengeordneten Ansprüchen bestimmte Vorrichtung und Motor
gelöst. Besondere Ausführungsarten der Erfindung sind in den
Unteransprüchen bestimmt.

Die Erfindung betrifft insbesondere ein Verfahren zum Zünden der
10 Verbrennung eines Kraftstoffes in einem Verbrennungsraum eines Motors
durch Einkoppeln von in einer Mikrowellenquelle außerhalb des
Verbrennungsraums erzeugter Mikrowellenstrahlung in den
Verbrennungsraum, wobei die eingekoppelte Mikrowellenstrahlung von
dem im Verbrennungsraum verteilten Kraftstoff absorbiert wird, und wobei
15 durch den aufgrund der Absorption entstehenden Energieeintrag in den
Kraftstoff die Verbrennung vorzugsweise großvolumig im
Verbrennungsraum gleichmäßig verteilt und im wesentlichen gleichzeitig
gezündet wird, vorzugsweise im gesamten Verbrennungsraum gleichmäßig
verteilt und im wesentlichen gleichzeitig gezündet wird.

20

In der Regel befindet sich im Verbrennungsraum ein Gemisch aus Kraftstoff
und einer Sauerstoffquelle, beispielsweise ein Kraftstoff-Luft-Gemisch.
Durch die Bewegung eines Kolbens im Zylinder ist darüber hinaus häufig
das Kraftstoff-Luft-Gemisch während des Zündvorgangs verdichtet. Die
25 Einkopplung der Mikrowellenstrahlung erfolgt vorzugsweise so, dass sich
eine möglichst homogene Energiedichteverteilung im Verbrennungsraum
ergibt. Hierzu kann entweder das Mikrowellenfenster verhältnismäßig
großflächig sein oder ein kleinflächiges Mikrowellenfenster verwendet
werden. Im letztgenannten Fall kann es vorteilhaft sein, an der Eintrittsstelle

der Mikrowellenstrahlung in den in der Regel zylindrischen Verbrennungsraum eine Diffusoreinrichtung vorzusehen, beispielsweise eine geeignete, flächige Punkt-, Linien- oder Gitterstruktur vorzusehen, welche die Einstrahlung der Mikrowellen in den Verbrennungsraum mit einer isotropen Richtungscharakteristik bewirkt. Gegebenenfalls kann durch die Ausgestaltung des Diffusors eine vorgebbare Energiedichteverteilung im Verbrennungsraum erreicht werden.

Die Wellenlänge der Mikrowellen beträgt vorzugsweise zwischen 0,1 cm und 45 cm, insbesondere zwischen 1 cm und 15 cm und typisch zwischen 3 cm und 10 cm. In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden die Mikrowellen impulsförmig eingekoppelt, wobei hierfür einer oder mehrere Mikrowellenimpulse verwendet werden kann. Die Leistung der Mikrowellenimpulse ist abhängig vom jeweiligen Anwendungsfall und kann beispielsweise zwischen einem Kilowatt und 70 kW betragen. Die Impulsdauer kann beispielsweise zwischen 1 nsec und 2 msec erfolgen, wobei der Impulsabstand bei mehreren Mikrowellenimpulsen typisch zwischen 100 nsec und 2 msec liegt.

Die zugeführte Mikrowellenenergie wird unmittelbar zur gleichzeitigen und gleichmäßigen Zündung des gesamten Kraftstoff-Luft-Gemisches verwendet. Durch die in Bezug auf die Geschwindigkeit der Kolbenbewegung verhältnismäßig kurze Impulsdauer ist die Veränderung des Volumens des Verbrennungsraums während der Impulsdauer vernachlässigbar klein. Die Leistung des Mikrowellenimpulses muss ausreichend hoch gewählt werden, damit genügend Zündenergie in den Verbrennungsraum eingekoppelt wird.

Durch die zugeführte Mikrowellenenergie werden die im Kraftstoff-Luft-Gemisch vorhandenen Kraftstofftröpfchen bis zur Zündtemperatur erhitzt und dadurch das Gemisch gezündet. Im Gegensatz zum Stand der Technik wird bei der vorliegenden Erfindung die Erzeugung eines Plasmas
5 vermieden.

Im Gegensatz zu den bekannten Zündsystemen erfolgt bei der vorliegenden Erfindung die Zündung nicht an einem einzigen vorgegebenen Ort im Verbrennungsraum und muss sich daher auch nicht anschließend
10 verhältnismäßig langsam ausbreiten, sondern vorzugsweise wird im gesamten Verbrennungsraum das gesamte Kraftstoff-Luft-Gemisch nahezu gleichzeitig und gleichmäßig gezündet.

Bei den bekannten Zündverfahren läuft der Verbrennungsprozess des Kraftstoff-Luft-Gemisches im Verbrennungsmotor in zwei Phasen ab: In der
15 ersten, verhältnismäßig langsamen, so genannten laminaren Phase begrenzt die laminare Flammgeschwindigkeit im Wesentlichen die Geschwindigkeit des Verbrennungsprozesses des Motors und damit die Effizienz. Typische laminare Flammgeschwindigkeiten insbesondere von modernen
20 Verbrennungsmotoren mit abgemagerten Gemischzusammensetzungen betragen etwa 10 cm/sec. An die laminare Phase schließt sich die so genannte turbulente Verbrennungsphase als zweite Phase an. Unter dem Gesichtspunkt einer möglichst hohen Effizienz sollte stets möglichst schnell die zweite turbulente Verbrennungsphase erreicht werden. Hierauf
25 konzentrieren sich auch einige Bemühungen aus dem Stand der Technik, bei denen aber nach wie vor für das Erreichen der zweiten Phase der Ablauf der ersten Phase erforderlich ist.

Im Gegensatz dazu wird gemäß der vorliegenden Erfindung die erste, langsame laminare Verbrennungsphase vollständig übersprungen und die Zündung führt unmittelbar zur zweiten, schnellen turbulenten Verbrennungsphase.

5

Die Erfindung betrifft auch eine Zündvorrichtung zum Ausführen des erfindungsgemäßen Verfahrens. Als elektrische Energieversorgungsquelle kommt dabei vorzugsweise ein Impuls-Hochspannungsnetzteil in Betracht, welches die für die Mikrowellenimpulse erforderliche Energie bereitstellt.

10

Als Mikrowellenquelle kann beispielsweise ein Magnetron, Klystron, Gyrotron, eine Wanderfeldröhre (Travelling Wave Tube, TWT) oder dergleichen eingesetzt werden. Eventuelle Mikrowellenverbindungen sind hinsichtlich ihrer Abmessungen an die Wellenlänge der Mikrowellenquelle anzupassen, um Reflektionen und Leitungsverluste möglichst klein zu

15

halten. Gegebenenfalls kann die Mikrowellenleitung auch flexibel ausgestaltet sein.

20

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist zwischen der Mikrowellenquelle und dem Mikrowellenfenster eine Koppereinrichtung angeordnet, welche einerseits die von der Mikrowellenquelle gesendeten Mikrowellen an das Mikrowellenfenster überträgt, andererseits die vom Verbrennungsraum reflektierten Mikrowellen aber nicht zurück in die Mikrowellenquelle überträgt. Insbesondere kann diese Koppereinrichtung ein Dreitor aufweisen, insbesondere einen Zirkulator, an dessen erstem Tor 25 die Mikrowellenquelle, dessen zweitem Tor das Mikrowellenfenster und dessen drittem Tor ein vorzugsweise passiver Mikrowellenverbraucher angeschlossen ist. Der Zirkulator hat die Funktion, Mikrowellenenergie von der Mikrowellenquelle zum Verbrennungsraum weiterzuleiten und gleichzeitig die vom Verbrennungsraum zurückgestrahlte

Mikrowellenenergie zum passiven Mikrowellenverbraucher umzuleiten, der die vom Verbrennungsraum reflektierte Mikrowellenenergie absorbiert. Dadurch wird die Mikrowellenquelle vor den reflektierten Mikrowellenstrahlen geschützt. Der Zirkulator kann, um die Funktion der
5 Reduktion von zurückgestrahlter Mikrowellenenergie zu verbessern, einen gasgefüllten Entlader enthalten.

Das Mikrowellenfenster ist für die Mikrowellenenergie im Wesentlichen durchlässig, insbesondere kann auch eine hohe Mikrowellenleistung
10 hindurchtransportiert werden, und dichtet andererseits den Verbrennungsraum nach außen ab. Eine mögliche Ausführungsform des Mikrowellenfensters besteht in einer keramischen Scheibe, einer Scheibe aus Saphirglas oder einem anderen geeigneten Werkstoff. Das
15 Mikrowellenfenster kann darüber hinaus beispielsweise flächige oder auch dreidimensionale Strukturen aufweisen, vorzugsweise an der Oberfläche, beispielsweise durch Aufbringen einer metallischen Struktur, durch welche eine vorgebbare Abstrahlcharakteristik der Mikrowellenenergie in den
Verbrennungsraum hinein gewährleistet ist.

20 Der Erfindung betrifft auch einen Motor mit einer Zündvorrichtung, die nach dem erfindungsgemäßen Zündverfahren arbeitet. Bei einer besonderen Ausführungsart handelt es sich um einen Otto-Motor, Wankel-Motor, SIDI-(Spark Ignition Direct Injection)-Motor oder Diesel-Motor, bei dem ein Kraftstoff-Luft-Gemisch im Verbrennungsraum gezündet wird.

25 Die vorliegende Erfindung führt zu einer optimalen Verbrennung des Kraftstoff-Luft-Gemisches in einem erfindungsgemäßen Motor dadurch, dass im gesamten Verbrennungsraum durch die gleichzeitige und gleichmäßige Zündung und Verbrennung des Kraftstoff-Luft-Gemisches keine erste,

langsame laminare Verbrennungsphase entsteht, sondern die zweite, schnelle turbulente Verbrennungsphase beim Zünden unmittelbar gestartet wird. Hierzu werden im gesamten Verbrennungsraum kleine turbulente, sich unabhängig voneinander ausbreitende Zünd- und Verbrennungszonen erzeugt, nahezu gleichzeitig in sehr großer Anzahl. Dementsprechend wird
5 das Kraftstoff-Luft-Gemisch im gesamten Verbrennungsraum nahezu gleichzeitig gezündet und anschließend verbrannt.

Durch die Verwendung mehrerer Mikrowellenimpulse werden die im Kraftstoff-Luft-Gemisch vorhandenen Kraftstofftröpfchen stufenweise bis
10 zum Erreichen der Zündtemperatur erhitzt. Dadurch werden die grundsätzlich unerwünschten unterschiedlichen Temperaturbereiche im Verbrennungsraum vermieden, denn die stufenweise Anhebung der Temperatur führt zu einer Vergleichmäßigung und damit im Endeffekt zu
15 einer praktisch gleichzeitigen und gleichförmigen Zündung des gesamten Gemisches im Verbrennungsraum. Außerdem wird durch die Mehrfachimpulse die grundsätzlich ebenfalls unerwünschte Plasmaerzeugung verhindert.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf die Zeichnungen mehrere Ausführungsbeispiele im Einzelnen beschrieben sind. Dabei können die in den Ansprüchen und in
20 der Beschreibung erwähnten Merkmale jeweils einzeln für sich oder in beliebiger Kombination erfindungswesentlich sein.
25

Fig. 1 zeigt schematisch den Aufbau einer erfindungsgemäßen Zündvorrichtung,

Fig. 2 bis 4 zeigen die Leistung eines Motors in Abhängigkeit von der Reduzierung der Kraftstoffmenge im Kraftstoff-Luft-Gemisch (Abmagerung), und

5 Fig. 5 zeigt den CO-Gehalt eines Motors in Abhängigkeit von der Abmagerung.

Die Fig. 1 zeigt schematisch den Aufbau einer erfindungsgemäßen Zündvorrichtung 1 für einen ebenfalls nur schematisch dargestellten Motor 2, von dem nur der Zylinder 3 und der sich darin Auf und Ab bewegende Kolben 4 dargestellt ist. Der Kolben 4 und der Zylinder 3 begrenzen den Verbrennungsraum 5, in dem sich idealerweise gleichverteilt ein Kraftstoff-Luft-Gemisch befindet. In der Darstellung der Fig. 1 befindet sich der Kolben 4 annähernd im oberen Totpunkt.

15 Die Zündvorrichtung 1 umfasst zunächst ein Impuls-Hochspannungsnetzteil 6, mit dessen Energie die Mikrowellenquelle 7 betrieben wird. Ein erstes Stück einer vorzugsweise biegsamen Mikrowellenleitung 8 ist flanschartig mit einem ersten Anschlussflansch 9 des Zirkulators 10 verbunden. Auf der dem ersten Anschlussflansch 9 gegenüberliegenden Seite weist der Zirkulator 10 einen zweiten Anschlussflansch 11 auf, der flanschartig mit einer zweiten Mikrowellenleitung 12 verbunden ist, die ebenfalls vorzugsweise biegsam ist und zu dem Mikrowellenfenster 13 führt.

25 Das Mikrowellenfenster 13 ist derart an der Mantelfläche des Zylinders 3 festgelegt, dass die Einstrahlung der Mikrowellen so in den Verbrennungsraum 5 erfolgt, dass sich eine möglichst homogene Energiedichteverteilung im Verbrennungsraum 5 ergibt. In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel besteht das Mikrowellenfenster 13 aus einer keramischen Scheibe, die derart in dem Zylinder 3 eingefügt ist, dass

der Verbrennungsraum 5 nach außen abgedichtet ist. Das Mikrowellenfenster 13 kann insbesondere auf seiner dem Verbrennungsraum 5 zugewandten Seite Strukturen 14 aufweisen, durch die eine diffuse Einstrahlungscharakteristik der Mikrowellen in den
5 Verbrennungsraum 5 gewährleistet ist.

Durch den Zirkulator 10 wird entsprechend dem durch den Pfeil 15 repräsentierten Energiefluss die über den ersten Anschlussflansch 9 zugeführte Mikrowellenenergie praktisch ungedämpft über den zweiten Anschlussflansch 11 dem Mikrowellenfenster 13 zugeführt und damit in
10 den Verbrennungsraum 5 eingekoppelt. Im Verbrennungsraum 5 auftretende Reflektionen können zu einer Rückstrahlung von Mikrowellenenergie über die zweite Mikrowellenleitung 12 und in den zweiten Anschlussflansch 11 führen. Der Zirkulator 10 gewährleistet in
15 diesem Fall allerdings eine Ableitung der Mikrowellenenergie gemäß dem Pfeil 16, nämlich nicht zurück in den ersten Anschlussflansch 9, sondern über einen dritten Anschlussflansch 17, an den eine dritte Mikrowellenleitung 18 angeschlossen ist, die den reflektierten Energiestrom zu einem passiven Mikrowellenverbraucher 19 führt. Die Anschlussflansche
20 9, 11, 17 des Zirkulators 10 können auch entgegen der Darstellung in der Fig. 1 jeweils in einem Winkelabstand von 120° symmetrisch angeordnet sein.

Das erfindungsgemäße Zündverfahren wurde mit einer erfindungsgemäßen
25 Zündvorrichtung an einem Verbrennungsmotor getestet. Es handelte sich dabei um einen Viertakt Otto-Motor mit vier Zylindern und einem Volumen von 1.300 cm^3 . Die Motorleistung betrug 63 PS/46,6 kW. Beim Betrieb mit einem konventionellen Zündsystem betrug der Kraftstoffverbrauch etwa 6,5 Liter je 100 km.

Bei diesem Serienmotor wurden die Zündkerzen entfernt und an deren Stelle keramische Scheiben als Dichtungen und als Mikrowellenfenster eingesetzt. Der Aufbau der Zündvorrichtung 1 entsprach dem der Fig. 1.

- 5 Der Verbrennungsmotor war mechanisch mit einem elektrischen Generator verbunden, damit war es möglich, die Motorleistung zu bestimmen. An dem Generator war ein ohmscher Verbraucher angeschlossen, der sich in einem Wasserkalorimeter befand.

- 10 Die Figuren 2 bis 4 zeigen die Leistung des Motors in Abhängigkeit von der Reduzierung der Kraftstoffmenge im Kraftstoff-Luft-Gemisch (Abmagerung) in drei unterschiedlichen Betriebsbereichen, nämlich bei Volllast (Fig. 2), Halblast (Fig. 3) und Drittellast (Fig. 4.). Der Faktor der Abmagerung ist dabei als der Bruchteil zu verstehen, auf den der Kraftstoffanteil reduziert wurde, in den Darstellungen der Figuren 2 bis 4 ausgehend von 1/1 bis zu
- 15 1/4,5-tel. Dabei zeigt sich, dass bei einem Betrieb mit der erfindungsgemäßen Zündvorrichtung der Kraftstoffanteil im Gemisch selbst bei Volllast um den Faktor 3 abgemagert werden kann, ohne dass die Leistung reduziert ist; bei Drittellast beträgt dieser Faktor sogar 3,5.

20

- Die Fig. 5 zeigt die Reduzierung des Kohlenmonoxid (CO)-Gehalts in den Abgasen des erfindungsgemäßen Motors in Abhängigkeit von der Konzentration des Kraftstoffs im Kraftstoff-Luft-Gemisch. Selbst beim Faktor 1 ist die Konzentration von CO mit 0,05 Vol% deutlich geringer als
- 25 beim Standardmotor mit herkömmlicher Zündvorrichtung, wo dieser Wert etwa 0,20 Vol% beträgt. Bei einer Abmagerung um den Faktor 3 lässt sich der CO-Gehalt noch einmal herabsetzen bis auf 0,02 Vol%. Dies bedeutet eine Reduzierung des CO-Ausstoßes um den Faktor 10. Bei annähernd gleicher Leistung betrug der Verbrauch mit dem erfindungsgemäßen

Zündverfahren nur etwa 2,3 Liter Otto-Kraftstoff auf 100 km, mithin nur noch etwa ein Drittel gegenüber dem Verbrauch mit konventionellem Zündverfahren.

Patentansprüche

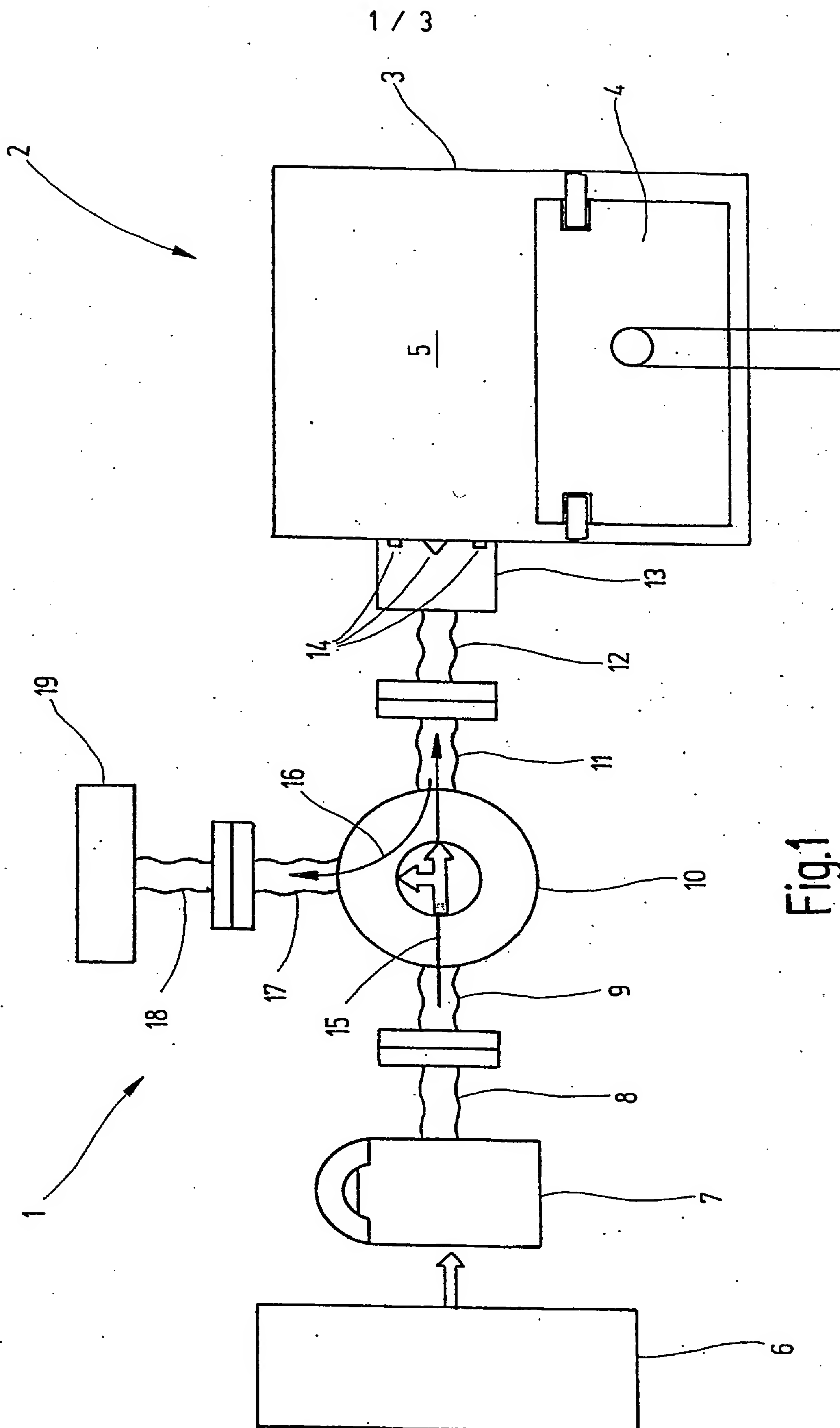
1. Verfahren zum Zünden der Verbrennung eines Kraftstoffes in einem
Verbrennungsraum (5) eines Motors (2) durch Einkoppeln von in einer
5 Mikrowellenquelle (7) außerhalb des Verbrennungsraums (5)
erzeugter Mikrowellenstrahlung in den Verbrennungsraum (5), wobei
die eingekoppelte Mikrowellenstrahlung von dem im
Verbrennungsraum (5) verteilten Kraftstoff absorbiert wird, und wobei
durch den aufgrund der Absorption entstehenden Energieeintrag in
10 den Kraftstoff die Verbrennung großvolumig im Verbrennungsraum (5)
verteilt, vorzugsweise im gesamten Verbrennungsraum (5)
gleichmäßig verteilt, im wesentlichen gleichzeitig gezündet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die
15 Mikrowellenstrahlung in Form von einem oder mehreren
Mikrowellenimpulsen kurzer Zeitdauer und hoher Energie
eingekoppelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass abhängig
20 vom Betriebszustand des Motors (2) und der Leistungsanforderung an
den Motor (2) die Anzahl der Mikrowellenimpulse, und/oder deren
Leistung, und/oder deren Impulsdauer, und/oder deren Zeitpunkt
gesteuert wird.
- 25 4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass
vorzugsweise 1 bis 10 Mikrowellenimpulse, insbesondere 1 bis 5
Mikrowellenimpulse, vorzugsweise mit einer Leistung zwischen 1 kW
und 70 kW, einer Impulsdauer zwischen 1 ns und 2 ms, und einem
Impulsabstand zwischen 100 ns und 2 ms verwendet werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass für den Zündvorgang mehrere Mikrowellenimpulse mit vorzugsweise unterschiedlicher Leistung und/oder Impulsdauer eingekoppelt werden, die durch einen schrittweisen Energieeintrag eine Nivellierung der Temperaturerhöhung des im Verbrennungsraum (5) verteilten Kraftstoffes bis hin zur Zündtemperatur gewährleisten.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass durch die Wahl der Zeitdauer der Einkopplung der Mikrowellenstrahlung, deren Leistung und gegebenenfalls der Impulsdauer und des Impulsabstandes die Entstehung eines Plasmas im Verbrennungsraum (5) verhindert wird.
7. Vorrichtung (1) zum Zünden der Verbrennung eines Kraftstoffes in einem Verbrennungsraum (5) eines Motors (2), wobei die Vorrichtung (1) eine außerhalb des Verbrennungsraums (5) angeordnete Mikrowellenquelle (7) und ein mit der Mikrowellenquelle (7) verbundenes Mikrowellenfenster (13) aufweist, und wobei über das Mikrowellenfenster (13) die Mikrowellenstrahlung in den Verbrennungsraum (5) einkoppelbar ist, so dass die eingekoppelte Mikrowellenstrahlung von dem im Verbrennungsraum (5) verteilten Kraftstoff absorbierbar ist, und durch den aufgrund der Absorption entstehenden Energieeintrag in den Kraftstoff die Verbrennung großvolumig im Verbrennungsraum (5) verteilt, vorzugsweise im gesamten Verbrennungsraum (5) gleichmäßig verteilt, im wesentlichen gleichzeitig zündbar ist.

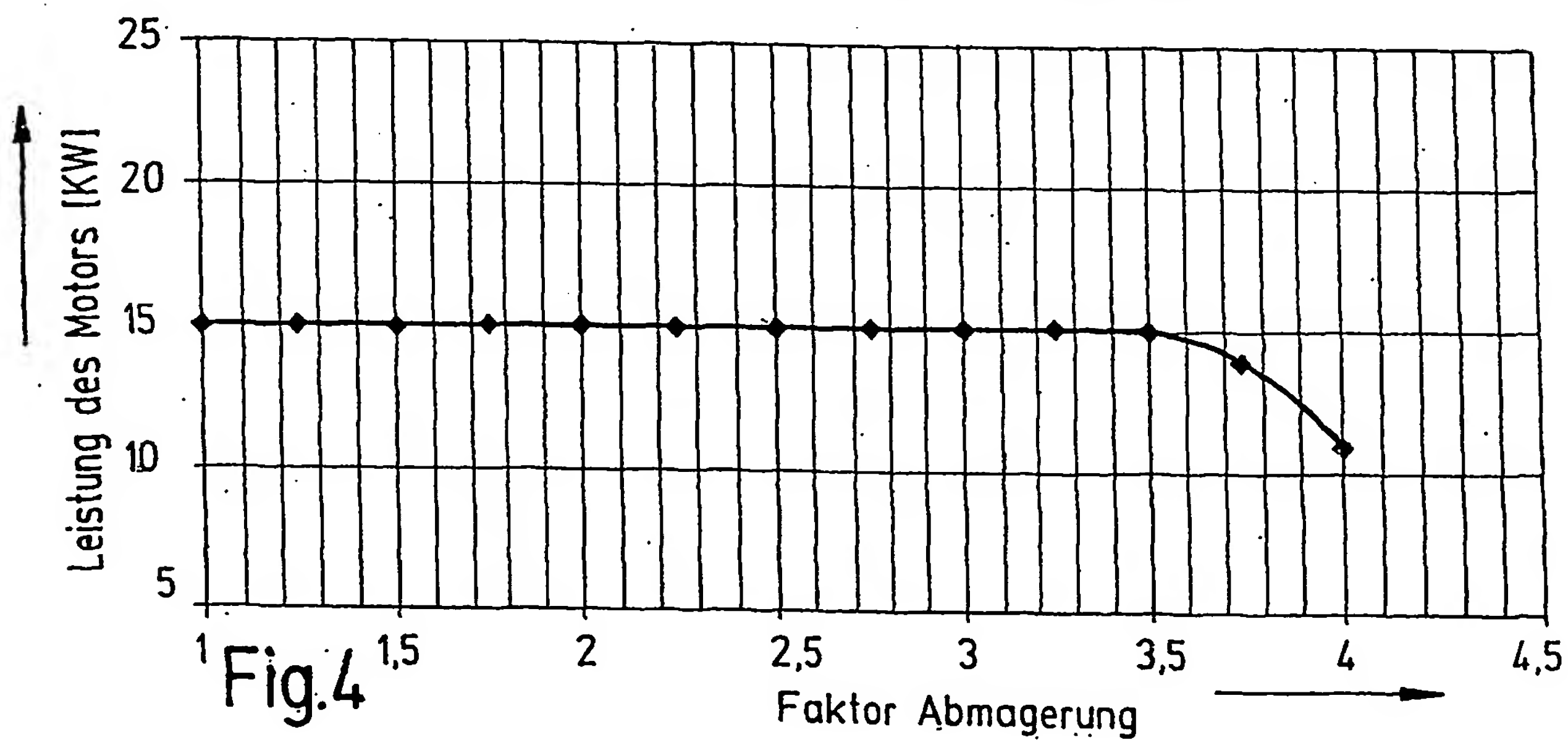
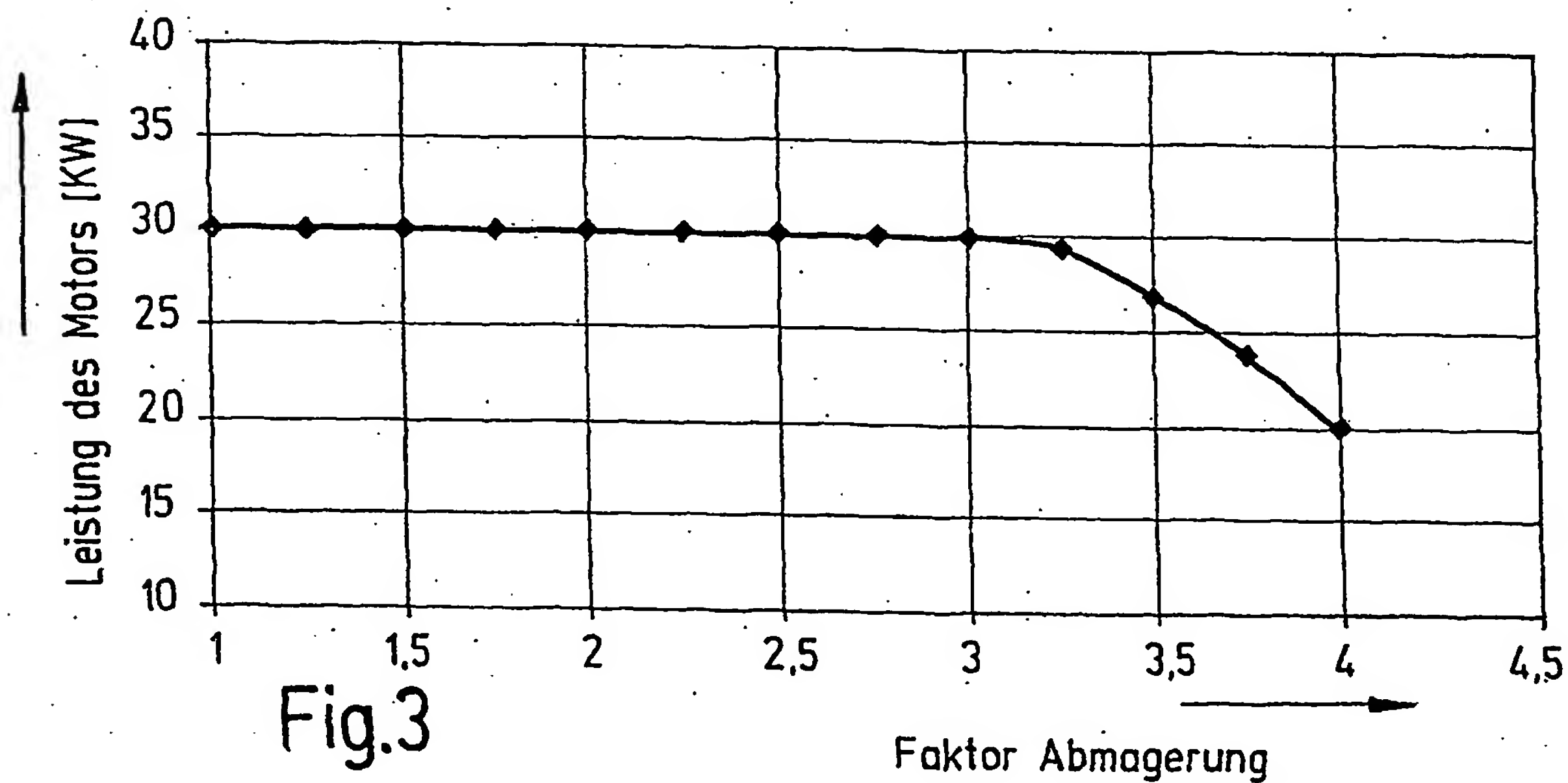
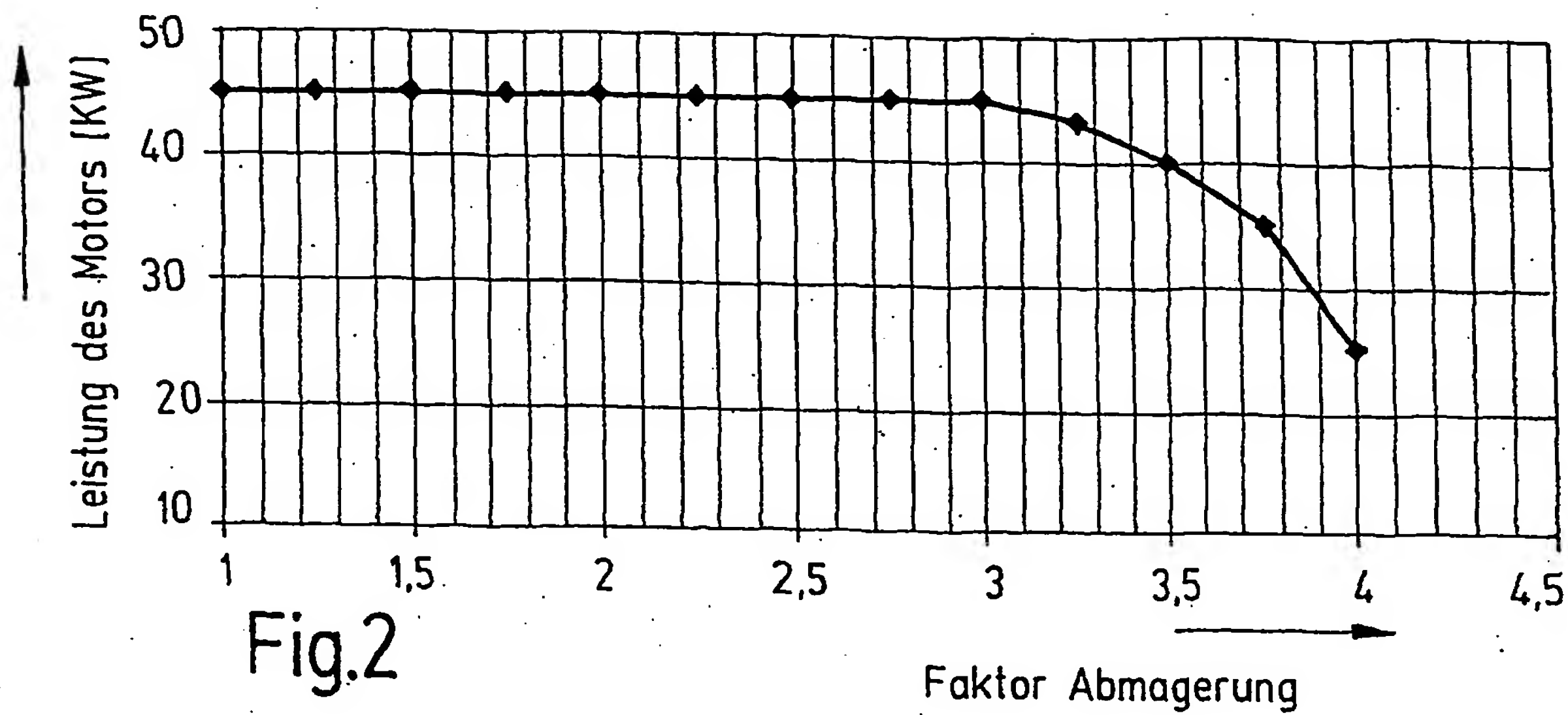
8. Vorrichtung (1) nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Mikrowellenquelle (7) von einer elektrischen Energieversorgungsquelle (6) gespeist ist, die elektrische Impulse liefert, welche durch die Mikrowellenquelle (7) in Mikrowellenimpulse umwandelbar sind.
9. Vorrichtung (1) nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Mikrowellenquelle (7) und dem Mikrowellenfenster (13), vorzugsweise im Verlauf der Mikrowellenleitung (8, 12), eine Koppeleinrichtung (10) angeordnet ist, welche die von der Mikrowellenquelle (7) gesendeten Mikrowellen an das Mikrowellenfenster (13) überträgt, die vom Verbrennungsraum (5) reflektierten Mikrowellen aber nicht zurück in die Mikrowellenquelle (7) überträgt.
10. Vorrichtung (1) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Koppeleinrichtung (10) ein Dreitor aufweist, insbesondere einen Zirkulator (10), an dessen erstem Tor die Mikrowellenquelle (7), dessen zweitem Tor das Mikrowellenfenster (13) und dessen drittem Tor ein vorzugsweise passiver Mikrowellenverbraucher (19) angeschlossen ist.
11. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Mikrowellenfenster (13) einen keramischen Werkstoff aufweist oder vollständig aus einem keramischen Werkstoff besteht.
12. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Mikrowellenquelle (7) mit dem

Mikrowellenfenster (13) durch eine vorzugsweise biegsame Mikrowellenleitung (8, 12) verbunden ist.

13. Motor (2) mit einer Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 7 bis
5 12 zum Zünden der Verbrennung eines Kraftstoffes in einem
Verbrennungsraum (5) des Motors (2).
14. Motor (2) nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass es sich
um einen Otto-Motor, Wankel-Motor, SIDI-(Spark Ignition Direct
10 Injection)-Motor oder Diesel-Motor handelt und dass ein Kraftstoff-
Luft-Gemisch im Verbrennungsraum (5) gezündet wird.



2 / 3



3 / 3

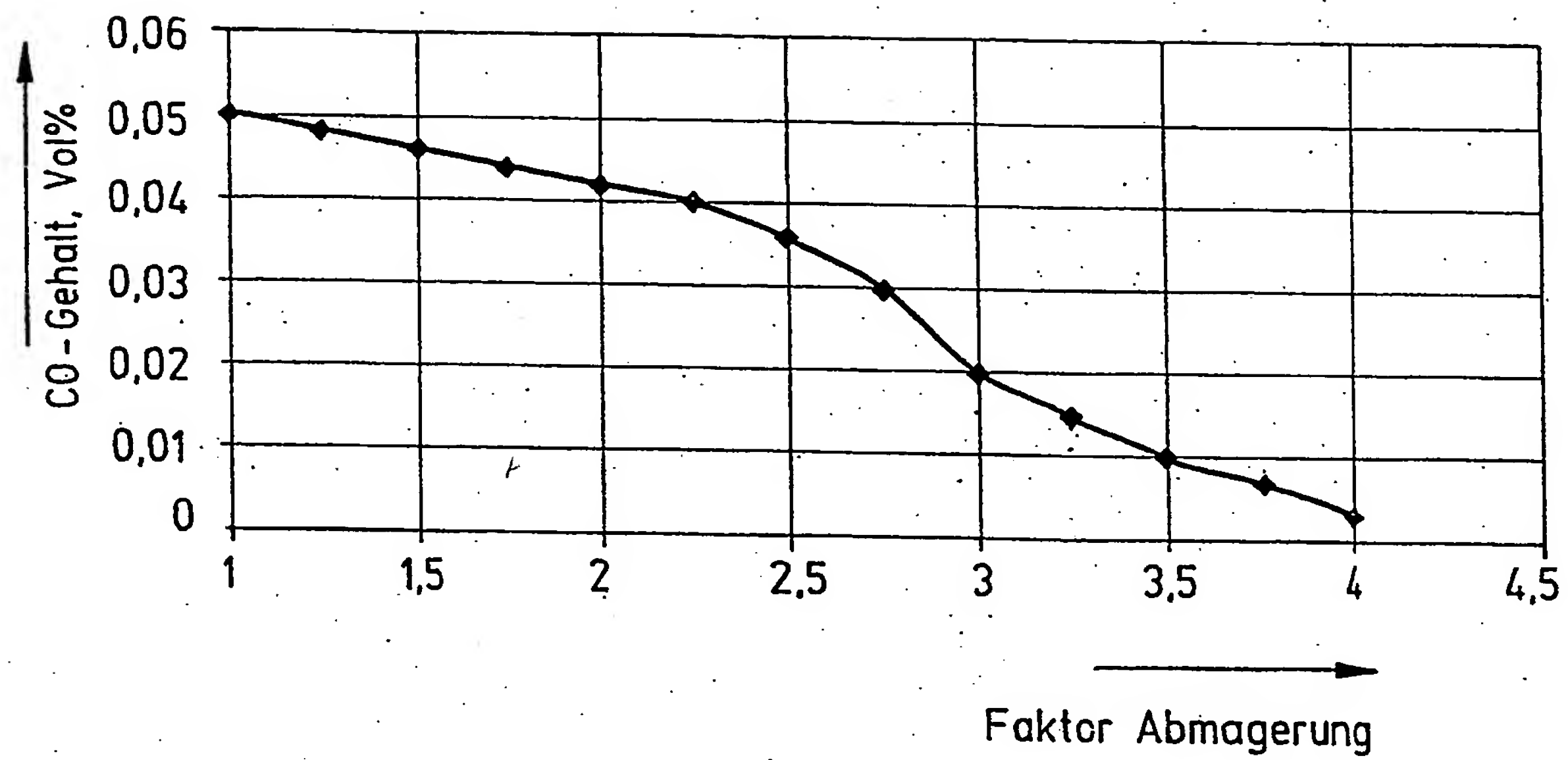


Fig.5